

Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia

YARA KELLY TEIXEIRA MIRANDA

**Contribuições e desafios da implantação da tecnologia
de informação MES – Manufacturing Execution
System – no planejamento e controle da produção –
um estudo de caso em uma empresa de fabricação de
alumina**

Ouro Preto
2025

YARA KELLY TEIXEIRA MIRANDA

**Contribuições e desafios da implantação da tecnologia de
informação MES – Manufacturing Execution System – no
planejamento e controle da produção – um estudo de caso em
uma empresa de fabricação de alumina**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. DSc. Irce Fernandes Guimarães

Ouro Preto
2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M672c Miranda, Yara Kelly Teixeira.

Contribuições e desafios da implantação da tecnologia de informação MES- manufacturing execution system - no planejamento e controle da produção [manuscrito]: um estudo de caso em uma empresa de fabricação de alumina. / Yara Kelly Teixeira Miranda. - 2025.
53 f.

Orientadora: Profa. Dra. Irce Guimarães.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Automação Industrial- Indústria 4.0. 2. Controle de produção - Planejamento. 3. Manufacturing Execution System (MES). 4. Enterprise Resource Planning (ERP). 5. Automação Industrial. I. Guimarães, Irce. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,
ADMINISTRAÇÃO E ECON



FOLHA DE APROVAÇÃO

YARA KELLY TEIXEIRA MIRANDA

**CONTRIBUIÇÕES E DESAFIOS DA IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO MES – MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM –
NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO – UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE FABRICAÇÃO DE ALUMINA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal
de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção

Aprovada em 05 de setembro de 2025

Membros da banca

Dra- Irce Fernandes Gomes Guimarães- Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto- UFOP)
Dra - Clarisse da Silva Vieira Camelo de Souza - (Universidade Federal de Ouro Preto- UFOP)
Mestranda e Engenheira Laura Eliza Ferreira Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto- UFOP)

Dra- Irce Fernandes Gomes Guimarães, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos
de Conclusão de Curso da UFOP em 09/09/2025



Documento assinado eletronicamente por **Irce Fernandes Gomes Guimaraes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em
08/09/2025, às 16:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro
de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?
acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0974968** e o código CRC **8D935352**.

Dedico este trabalho a Deus, pela força e orientação ao longo de cada etapa desta caminhada; à minha família, pelo suporte incondicional, que sempre foi um alicerce nos momentos mais desafiadores; e aos meus amigos, pela amizade e encorajamento que tornaram o percurso mais leve e motivador. A todos, minha sincera gratidão.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, por sua força e sabedoria, que me guiaram durante toda esta jornada acadêmica. À Escola de Minas e à UFOP, minha gratidão por oferecerem uma formação de excelência e experiências transformadoras que marcaram minha trajetória. Também expresso meu reconhecimento a todos os professores do Departamento de Produção (DEPRO), com os quais tive a honra de aprender, especialmente à Professora Irce, minha orientadora, cuja paciência, dedicação e apoio foram fundamentais para a realização deste trabalho.

“Planejamento não diz respeito às decisões futuras, mas às implicações futuras de decisões presentes.”

Peter Drucker

Resumo

Este Trabalho de Conclusão de Curso traz as contribuições e os desafios da implantação do sistema MES (Manufacturing Execution System) no Planejamento e Controle da Produção (PCP), a partir de um estudo de caso realizado em uma empresa química que produz alumina especiais e hidratos. O objetivo é apresentar direções para melhorar a gestão das linhas de produção nessas indústrias, avaliando as oportunidades e os obstáculos durante o processo. A pesquisa baseou-se em revisão bibliográfica e na coleta de dados junto a colaboradores envolvidos no processo de implantação do MES. Foram analisadas as práticas atuais de PCP apoiadas pelo ERP existente e comparadas às novas funcionalidades do MES. Entre os principais resultados observados destacam-se: maior rastreabilidade e padronização de lotes, automação na geração de etiquetas e um controle de estoque mais confiável, integração em tempo real com análises laboratoriais e redução de erros operacionais. Por outro lado, verificaram-se desafios como a resistência dos colaboradores, aumento da complexidade das ordens de produção e a necessidade de treinamento específico. Conclui-se que a implementação do MES proporciona ganhos significativos em automação, confiabilidade das informações e suporte à tomada de decisão. A consolidação do MES ainda requer a ampliação das funcionalidades disponíveis, a eliminação de processos manuais e a adaptação da equipe ao novo modelo de trabalho, oferecendo uma metodologia para o gestor de estoque.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Planejamento e Controle da Produção; MES; ERP; Automação Industrial.

Abstract

This Final Undergraduate Project presents the contributions and challenges of implementing the Manufacturing Execution System (MES) in Production Planning and Control (PPC), based on a case study carried out in a chemical company that produces specialty aluminas and hydrates. The objective is to provide guidelines to improve the management of production lines in such industries, assessing the opportunities and obstacles encountered during the process. The research was based on a literature review and data collection from employees involved in the MES implementation process. Current PPC practices supported by the existing ERP system were analyzed and compared with the new MES functionalities. The main results observed include greater traceability and standardization of batches, automation in label generation, more reliable inventory control, real-time integration with laboratory analyses, and a reduction in operational errors. On the other hand, challenges were identified, such as employee resistance, increased complexity of production orders, and the need for specific training. It is concluded that MES implementation provides significant gains in automation, information reliability, and decision-making support. However, the full consolidation of MES still requires expanding its functionalities, eliminating manual processes, and ensuring the adaptation of the workforce to the new operational model.

Keywords: Industry 4.0; Production Planning and Control; MES; ERP; Industrial Automation.

Lista de figuras

Figura 1 – Visão Geral do Processo Bayer	19
Figura 2 – Visão Geral do Processo Bayer	20
Figura 3 – Fluxo de informações do planejamento e controle da produção	21
Figura 4 – Desenvolvimento do MRP	23
Figura 5 – Desenvolvimento do MRP	23
Figura 6 – Arquitectura típica de um sistema ERP	25
Figura 7 – Situação inicial – Lacuna separando a gestão da produção do chão de fábrica	25
Figura 8 – Fluxo de dados do MES	26
Figura 9 – Fluxograma do PCP	31
Figura 10 – Demanda	32
Figura 11 – Etiquetas	33
Figura 12 – Análise Laboratorial	34
Figura 13 – Instrução de reclassificação	35
Figura 14 – Instrução de carregamento	36
Figura 15 – Controle de estoque	37
Figura 16 – Criação de ordens de produção no ERP atual	38
Figura 17 – Processo de implantação do MES	39
Figura 18 – Processo de implantação do MES na empresa de estudo	40
Figura 19 – Tela do módulo de Planejamento do MES da empresa estudada.	42
Figura 20 – Tela do módulo de Produção do MES da empresa estudada.	42
Figura 21 – Tela do módulo de Qualidade do MES da empresa estudada.	43
Figura 22 – Tela do módulo de Parada do MES da empresa estudada.	43
Figura 23 – Tela do módulo de Logística do MES da empresa estudada.	43
Figura 24 – Tela do módulo de Cadastro do MES da empresa estudada.	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Indicadores bibliométricos	15
Tabela 2 – Melhorias a serem alcançadas com o MES	45

Lista de abreviaturas e siglas

BOM	Bill of Materials
CA	Certificado de Análise
ERP	Enterprise Resource Planning
KPI	Key Performance Indicators
MES	Manufacturing Execution System
MESA	Manufacturing Enterprise Solutions Association
MPS	Master Production Schedule
MRP	Material Requirements Planning
PCP	Planejamento e Controle da Produção
TI	Tecnologia da Informação
WMS	Warehouse Management System

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização do Estudo	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Relevância deste estudo	15
1.4	Hipóteses	16
1.5	Organização da Monografia	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Indústria 4.0 – TI	18
2.2	O Processo de Produção de alumina, hidrato	19
2.3	Planejamento e Controle da Produção	20
2.4	Ferramentas para Acompanhamento e Controle	22
2.4.1	MRP E MRP II	22
2.4.2	ERP	24
2.4.3	MES	25
3	METODOLOGIA	28
3.1	Tipo e delineamento da pesquisa	28
3.2	Revisão da Literatura (Pesquisa Bibliográfica)	28
3.3	Coleta de Dados	28
3.4	Análise dos Dados	29
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
4.1	Estudo de Caso: Descrição da empresa	30
4.2	Descrição do processo realizado pelo PCP	30
4.2.1	Comercial x cliente	31
4.2.2	Criação de Lotes e impressão de etiquetas	32
4.2.3	Análises Laboratoriais e Certificação de Produtos	33
4.2.4	Reclassificação e Padronização de Lotes	34
4.2.5	Instrução de Carregamento	35
4.2.6	Controle de Estoque e Inventário	36
4.2.7	Utilização do ERP e Ordens de Produção	37
4.2.8	Dificuldades Identificadas	38
4.2.9	Considerações Iniciais para Implantação de um Sistema MES	38

4.2.10	Aplicação dos Conceitos Teóricos na Indústria Química Estudada	41
4.2.11	Implantação do MES na empresa estudada	42
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	47

1 Introdução

Este trabalho tem como objetivo estudar a implantação de sistemas MES, combinando conceitos teóricos e um estudo de caso prático. Ao longo do TCC, serão apresentados os principais fundamentos, experiências registradas e práticas adotadas, mostrando de forma clara como a teoria se aplica à prática. O objetivo é oferecer uma visão organizada e acessível do tema, destacando sua importância para melhorar processos produtivos e apoiar decisões mais eficientes nas indústrias analisadas.

1.1 Contextualização do Estudo

A atualização constante de processos industriais é necessária para manter a competitividade, a qualidade, e a eficiência operacional. Essas medidas asseguram que a empresa reduza custos, otimize processos, adapte às inovações tecnológicas, garantindo que a empresa atenda as demandas do mercado. Para garantir a competitividade no mercado é necessário que se tenha frequência na busca por novas tecnologias que contribuam para a otimização da produção, além de buscar mecanismos que reduzam o custo e melhorem a qualidade dos produtos. Um facilitador estratégico para integração e otimização dos processos industriais é o sistema MES (Manufacturing Execution System) que transforma dados em decisões, otimizando a produção e aumentando a eficiência operacional. (MESA International, 2008).

O MES (Manufacturing Execution System) é um sistema de gestão que fornece informações em tempo real sobre todo o processo produtivo, desde a chegada da matéria prima até a saída do produto, garantindo um melhor controle e monitoramento das operações, que junto com o ERP (Enterprise Resource Planning) são fundamentais para consolidar e integrar as informações empresariais, promovendo maior eficiência operacional e maior assertividade na tomada de decisão ao fornecer dados precisos.”(Monk & Wagner, 2012).

Sistemas MES podem trazer benefícios para os sistemas produtivos, especificamente: acompanhamento, rastreamento, avaliação de desempenho, gerenciamento de recursos, planejamento, visualização e compartilhamento de informações e gestão da qualidade, entre 14 outras (Jaskó et al., 2020 e Shojaeinasab et al., 2022). A introdução desse sistema de manufatura melhora indicadores de desempenho (KPIs- Key Performance Indicators- vis) buscando reduzir custos e elevar a qualidade e eficiência dos processos (Chen e Voigt, 2020).

Em processos industriais metalúrgicos estes recursos são muito utilizados. Desde 1888, Karl Josef Bayer desenvolveu e patenteou o processo hoje internacionalmente conhecido como "Processo Bayer"(Hind et al., 1999). Segundo Habashi (2005 O processo Bayer representa um marco na história da metalurgia. O processo Bayer é utilizado no refino

da bauxita, através de reações químicas.

Exemplos de aplicações dos recursos MES podem ser visualizados em diferentes contextos das indústrias. Neste estudo, será analisada uma situação prática em uma indústria química, que produz hidratos e aluminas especiais em Minas Gerais. Serão também avaliados o processo de controle dos processos fabris, por meio do sistema ERP. Esta conjugação, MES e ERP abrange diversos aspectos operacionais e administrativos, incluindo controle de produção, logística, segurança e qualidade, aprovações de requisições e ordens de compra, pedidos de venda, contas a pagar e relatórios. Neste contexto, a intenção deste trabalho é avaliar estratégias para a implementação do sistema MES (Manufacturing Execution System), bem como destacar os desafios enfrentados, as estratégias, os resultados obtidos depois da implementação, e os indicadores e feedbacks dos envolvidos.

1.2 Objetivos

Para conduzir e desenvolver este estudo de maneira adequada, foram estabelecidos objetivos que ajudam a orientar a pesquisa de forma organizada e clara. Estes são descritos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste estudo é apresentar diretrizes para implantar o sistema Manufacturing Execution System (MES) visando aprimorar a gestão nas linhas de produção para indústrias químicas, bem como avaliar os desafios e oportunidades que esta implantação possa trazer.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre os assuntos que servirão de base para essa pesquisa.
- Analisar os princípios da implantação do sistema Manufacturing Execution System (MES) em indústrias químicas.
- Apresentar um estudo de caso real e consultar as pessoas que vivenciaram a implantação do sistema MES em uma indústria química, tendo como objetivo verificar os desafios e melhorias ocorridos durante o processo.
- Promover uma análise comparativa na empresa estudada, com o objetivo de identificar os avanços adquiridos com o uso do ERP, com a inserção do sistema MES, e posteriormente com uso conjugado de ambos os sistemas.

1.3 Relevância deste estudo

A relevância desta pesquisa acadêmica fundamenta-se na necessidade de estar sempre em busca de otimizar a produção, a implantação do MES viabiliza maior controle, eficiência e rastreabilidade dos processos produtivos. É crescente a demanda de integração desses processos é a solução facilitada que auxilia na tomada de decisão, pois os dados são obtidos em tempo real.

Por meio de dados obtidos na plataforma Dimensions.ai e VOSviewr, identifica-se a relevância do tema relacionado à implantação de sistemas de manufatura, com um total de 759.778 publicações e 11,84 milhões de citações, resultando em uma média de 15,58 citações por artigo. Os setores mais influenciados são Ciências da Informação e Computação (197.880 publicações), Engenharia (190.527) e Gestão, Estratégia e Comportamento Organizacional 16(60.478). Observa-se um crescimento contínuo desde 2015, com pico superior a 50.000 publicações citadas, destacando alto interesse científico em temas como sistemas MES, ERP. A Tabela 1 apresenta a quantidade de estudos encontrados durante a abordagem desta pesquisa mediante algumas palavras-chave.

Tabela 1 – Indicadores bibliométricos

Palavra-chave	Publ.	Citações (aprox.)	Média Cit./ Artigo	Principais Áreas	Tendência
MES (Manufacturing Execution System)	45.200	780.000	17,26	Eng., Ciênc. Comp., Automação	Crescimento constante desde 2015; foco em rastreabilidade e integ. de processos
PCP (Planejamento e Controle da Produção)	12.800	145.000	11,33	Eng. Prod., Logística, Gestão de Op.	Relevância crescente na Ind. 4.0; integração com MES e ERP
Sistema de Manufatura	98.500	1.560.000	15,83	Eng., Automação, Prod. Enxuta	Base conceitual para MES, ERP e MRP; alta produção científica
ERP (Enterprise Resource Planning)	162.400	2.950.000	18,17	Gestão, TI, Estratégia, Eng. Prod.	Ampla adoção; integração com MES e PCP é destaque recente
MRP (Material Requirements Planning)	25.900	390.000	15,05	Eng. Prod., Supply Chain, Logística	Fundamenta o PCP e gestão de materiais; foco em otimização de estoques

Fonte: Pesquisa direta (2025).

Nota-se que o termo ERP é o mais publicado e citado, o que demonstra sua ampla utilização na integração de processos e gestão organizacional. Além disso, o MES se sobressai pela elevada média de citações, o que reforça sua relevância no monitoramento em tempo real e na rastreabilidade dos processos de produção.

O termo Sistemas de Manufatura é apresentado como um conceito fundamental, que fundamenta o ERP, MES e MRP, ao passo que o PCP e o MRP demonstram importância

prática no planejamento, programação e controle da produção, bem como na administração eficaz de estoques e materiais.

Esses dados apontam para um interesse científico consolidado e em crescimento no que diz respeito às tecnologias e métodos destinados à otimização da produção. Isso representa um campo promissor para pesquisas aplicadas, particularmente no âmbito das indústrias químicas produtoras de hidrato. Pela análise dos materiais científicos encontrados, apresenta-se a seguir algumas hipóteses que serão discutidas no decorrer deste estudo.

1.4 Hipóteses

1. A aplicação do sistema Manufacturing Execution System (MES) em uma indústria química facilita o rastreamento de lotes e ordens de produção.
2. A implantação do MES facilita o processo de gestão de estoque e traz maior rapidez de resposta em relação à localização de lotes de produção.
3. Aumento no tempo de realização do processo de lançamento de op's (ordens de produção) dificulta a agilidade do processo.
4. Há maior confiabilidade no processo, já que não pode ocorrer alterações em op's (ordens de produção) realizadas.

1.5 Organização da Monografia

Esta monografia está organizada em cinco partes principais, abordando aspectos importantes da pesquisa sobre a implantação do MES em uma indústria química de produção de hidrato e aluminas.

- Capítulo 1: Introdução. Neste capítulo, são apresentados os objetivos da pesquisa, as hipóteses, e a relevância do estudo no contexto de implantação do MES.
- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica. Este capítulo aborda a fundamentação teórica necessária para entender os benefícios e desafios na implantação de um sistema de manufatura, com foco na indústria química, além de discutir a indústria 4.0, o processo de produção de aluminas e hidratos, o planejamento e controle da produção (PCP), ERP, e ferramentas que são utilizadas para acompanhamento e controle da produção
- Capítulo 3: Metodologia. É abordado neste capítulo a metodologia utilizada na pesquisa, incluindo os tipos de estudo, a coleta de dados, e os métodos de análise utilizados.

- Capítulo 4: Resultados e Discussão. Neste capítulo, os resultados alcançados são exibidos e discutidos com base nos objetivos propostos.
- Capítulo 5: Considerações Finais. Por fim, o capítulo resume as conclusões do trabalho de conclusão de curso e destaca as contribuições do MES para a indústria química. A organização do trabalho visa oferecer uma compreensão mais ampla do tema abordado.

2 Referencial teórico

Neste capítulo serão abordados os principais fundamentos, perspectiva de vários autores, que fundamentam esta pesquisa acadêmica, com a finalidade de atingir os objetivos propostos.

2.1 Indústria 4.0 – TI

Segundo Hobsbawm, 1962 “A Revolução Industrial alterou drasticamente as relações de trabalho e a estrutura social, promovendo a urbanização, o crescimento populacional e a divisão do trabalho em escala nunca vista.”

Iniciando pela primeira revolução industrial (1760-1850) aconteceu na Inglaterra, marcada pela invenção da máquina a vapor. O principal setor que sofreu maiores mudanças foi o têxtil, que foi laboratório da Revolução Industrial. Foi nele que a inovação tecnológica e a reorganização do trabalho se combinaram pela primeira vez para criar um sistema de produção verdadeiramente industrial.”(Landes, 1994.)

Na segunda revolução (1850-1945) a produção começou a se desenvolver de forma acelerada e “trouxe uma nova onda de inovações, como a eletricidade e o motor de combustão interna, que transformaram indústrias e sociedades de maneiras sem precedentes”(Landes, 1994). Surgindo também definições de capitalismo financeiro, aceleração da produção, lucro que contribuíram para o crescimento econômico mundial.

A terceira revolução industrial é marcada pelo desenvolvimento da “informática, robótica e telecomunicações, que formam os principais elementos para redefinir os processos produtivos”(Boettcher, 2015.) (Boettcher, 2015.) aumentando significativamente a eficiência e a produtividade. Atualmente vivenciamos a quarta revolução industrial, também chamada de indústria 4.0. A era da informação fácil, da internet das coisas, da automação e automatização, da busca incessante pela produtividade, da conectividade. Nesta nova era, “A Indústria 4.0 permite uma maior flexibilidade na produção, onde as fábricas podem se adaptar rapidamente às mudanças de demanda, otimizando os recursos disponíveis.”(Gunter, 2018.).

Com o avanço tecnológico, as áreas de tecnologia da Informação (TI) podem ser definidas como o conjunto de todas as formas de tecnologia usadas para criar, armazenar, trocar e utilizar informações em suas diversas formas, incluindo dados de negócios, comunicações de voz, imagens e multimídia.”(Tuban, 2018), se tornaram indispensáveis para o crescimento da produtividade e manutenção no mercado competitivo de qualquer empresa.

Neste contexto, observa-se que o investimento em tecnologia da informação é indispensável, pois observa-se o quanto a implantação dessas ferramentas é primordial para redução de custos, aumento da produtividade, alcance da qualidade dos produtos, aber-

tura para a automação de processos, melhora a eficiência operacional e fornecendo suporte à tomada de decisão estratégica.”(Stair, 2021).

2.2 O Processo de Produção de alumina, hidrato

A produção de aluminas especiais é de grande importância tanto para o mercado nacional quanto internacional. O processo de extração de alumina, parte inicial do processo Bayer, refere-se à etapa de extrair o óxido de alumínio (Al_2O_3) do minério de bauxita. O processo começa com a bauxita, um minério rico em óxidos de alumínio hidratados. Segundo De Matos (2020) a bauxita é extraída de jazidas, triturada e lavada para remover impurezas como argila e sílica.

Figura 1 – Visão Geral do Processo Bayer



Fonte: CUNHA, M. V. P. O. (2018). Estudo da Adsorção de Cromo (VI)

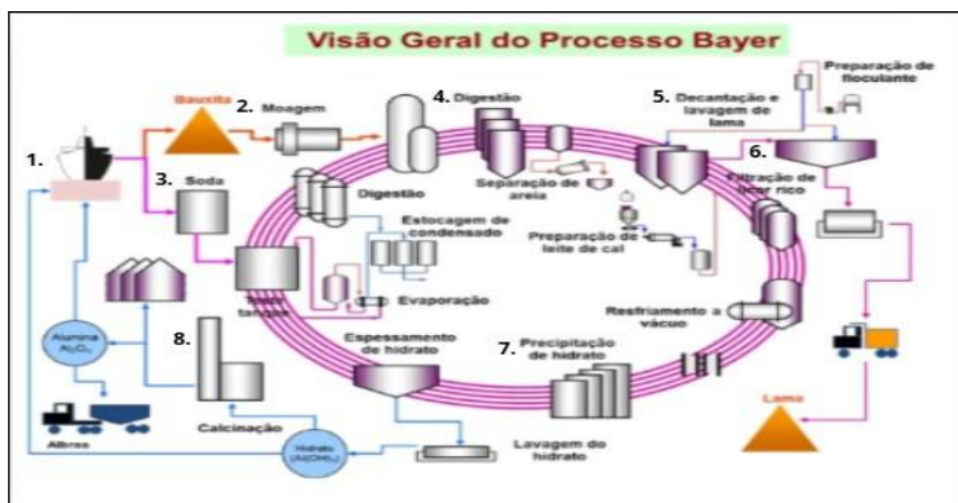
A mesma autora afirma que após a extração é feita a ii) Mistura e Digestão: O minério triturado é misturado com uma solução quente de hidróxido de sódio (soda cáustica) em grandes digestores sob alta pressão. E finalmente é feita a dissolução: Nessas condições, o hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$ presente na bauxita reage com a soda cáustica e se dissolve, formando uma solução de aluminato de sódio. As impurezas (principalmente óxidos de ferro, sílica e titânio) não se dissolvem e permanecem em estado sólido, formando a "lama vermelha".

Segundo Alumínio (2024), a Escola de Minas de Ouro Preto, em Minas Gerais, no século XIX, destacou-se como referência nos estudos relacionados à bauxita, o minério composto por uma mistura natural de óxidos de alumínio. Durante a Segunda Guerra Mundial, em 1944, a indústria brasileira de produção de alumínio primário tornou-se pioneira, e a indústria química tornou-se referência no desenvolvimento de diversos produtos de consumo básico e especiais. A indústria de aluminas especiais desempenha um papel crucial em uma grande gama de produtos, destacando-se os materiais refratários, apreciados por sua resistência a altas temperaturas e durabilidade.

No processo de produção das aluminas especiais, é fundamental a obtenção do hidrato a partir da bauxita, que passa por um processo químico conhecido como processo Bayer que “é o método mais amplamente utilizado para a extração da alumina da bauxita, baseando-se na dissolução seletiva do hidróxido de alumínio em soda cáustica e subsequente precipitação e calcinação,” (Gil, A, 2005) em um forno rotativo calcinador, onde é transformado em alumina metalúrgica, utilizada na produção de alumínio primário. Além da alumina metalúrgica, podem ser produzidos outros tipos de aluminas, como as utilizadas no mercado de refratários e na indústria do vidro.

O fluxograma representa o processo Bayer de fabricação de aluminas e hidrato. O processo se inicia com a chegada de matéria prima (minério de bauxita) (1.), seguindo para etapa de moagem (2.) onde o minério é triturado e mistura com uma solução de soda (3.). A mistura segue para os tanques de digestão (4.) onde é submetida a altas temperaturas e pressão em autoclaves. A lama resultante é transferida para os tanques de decantação (5.), após esse processo a solução é filtrada (6.) e resfriada para indução da precipitação (7.) A última etapa do processo é a calcinação (8.) que ocorre em fornos rotativos com temperaturas elevadas.

Figura 2 – Visão Geral do Processo Bayer



Fonte: CUNHA, M. V. P. O. (2018). Estudo da Adsorção de Cromo (VI)

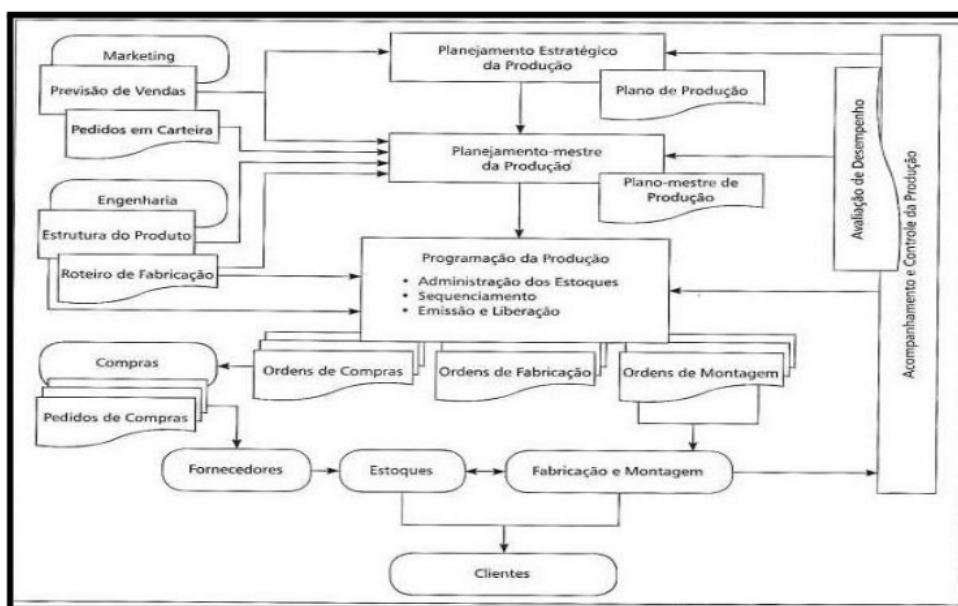
2.3 Planejamento e Controle da Produção

Segundo Tubino (2014) PCP (planejamento e controle da produção), é um conjunto de técnicas e processos que visam planejar, programar e controlar os processos produtivos da organização visando garantir os recursos necessários a fim de aumentar a produtividade e atender as demandas dos clientes dentro dos prazos e custos estabelecidos.

De acordo com Tubino (2014) o PCP é essencial para a coordenação entre as diferentes áreas da empresa, como vendas, compras, estoques e produção, com o objetivo de alinhar as operações às necessidades do mercado. Ele envolve atividades como previsão de

demanda, planejamento de capacidade, programação da produção, controle de estoques e acompanhamento do desempenho produtivo. Segundo Corrêa (2012), as funções do PCP são: previsão de demanda que estima a quantidade de produtos que serão demandados, a próxima funcionalidade é o planejamento agregado que define níveis de estoque e o planejamento mestre da produção que é o detalhamento do que será produzido. A programação da produção é uma etapa importante onde será definido o sequenciamento da produção, a emissão das ordens de produção, e o balanceamento de cargas.

Figura 3 – Fluxo de informações do planejamento e controle da produção



Fonte: Tubino, 2007, p. 3.

A Figura 3 retrata o fluxo de informações do planejamento e controle de produção. Mostrando as entradas e todos os processos para que os recursos cheguem ao cliente, em tempo hábil e dentro das especificações determinadas.

O fluxo tem como sua estrutura central etapas importantes para garantir o sucesso do processo. No planejamento estratégico da produção é onde será desenvolvido o plano de produção, as previsões de vendas determinam o rumo do processo. Seguindo pelo planejamento do plano mestre de produção que determina a engenharia do produto e as especificações dos processos de fabricação. A programação da produção administra os estoques, os pedidos de compra, as ordens de compra e o processo de fabricação até a chegada do produto aos clientes. “Segundo Tubino (2012) a gestão da capacidade produtiva é fundamental para equilibrar a demanda e a oferta, evitando gargalos e ociosidade excessiva”. Seguir esse fluxo é extremamente importante para o desempenho do processo de produção, são garantia de qualidade, controle, confiabilidade melhorando a competitividade da empresa.

SILVA, Gabriel de Macedo (2022) diz que “O Planejamento e Controle da Produção (PCP) na indústria química é essencial para garantir a continuidade dos processos, a

utilização eficiente dos recursos e o atendimento das demandas com qualidade e segurança, considerando as especificidades do setor como reações químicas, tempos de processamento e regulamentações ambientais.”

2.4 Ferramentas para Acompanhamento e Controle

Neste tópico, apresenta-se as ferramentas usadas para acompanhar e controlar os processos estudados. A ideia é explicar de forma simples como cada ferramenta ajuda a organizar e monitorar as atividades, tornando mais fácil tomar decisões e alcançar os resultados desejados.

2.4.1 MRP E MRP II

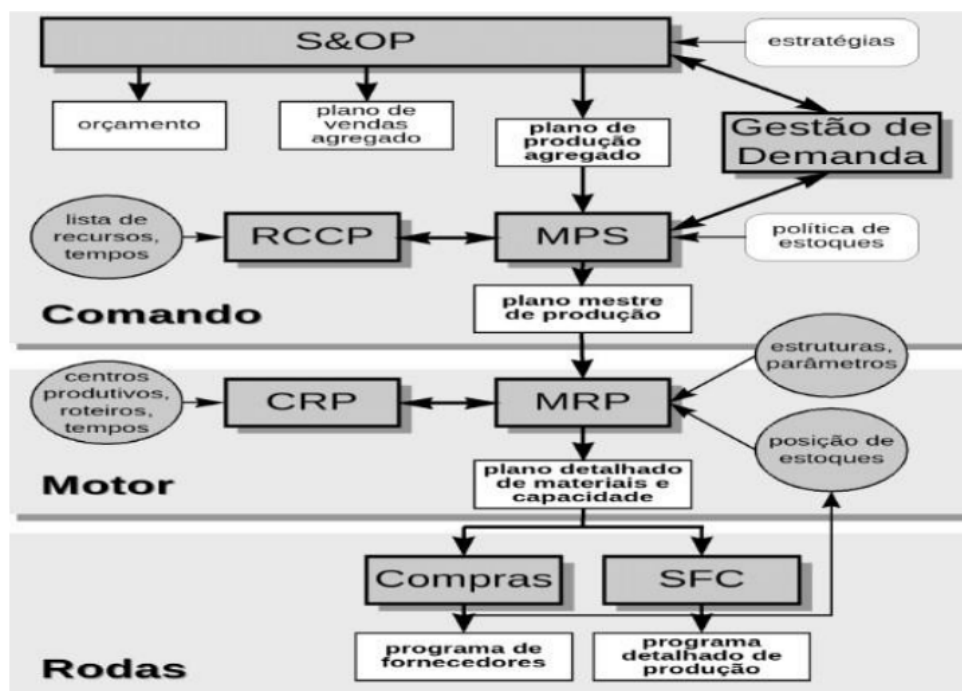
O MRP está entre os principais sistemas que auxiliam o PCP assim como o just in time. E tem como principal objetivo apoiar as atividades e coordenação dos processos de produção. Segundo Esteves (2007), o MRP surgiu na década de 60, com o objetivo de auxiliar as empresas com o cálculo das necessidades de materiais.

O software MRP (Material Requirements Planning), integra o planejamento das necessidades dos materiais a fim de conseguir atender as demandas necessárias, sem excesso de estoque, a fim de garantir qualidade, otimização e aumento da produtividade. Elementos importantes que compõem o MRP são: o “BOM também chamado de lista de materiais, que é uma estrutura hierárquica que detalha todos os componentes, matérias-primas e subconjuntos necessários para a fabricação de um produto (Vollmann, 2005)”. O registro de estoque que quantifica as quantidades de materiais disponíveis. E o programa mestre de produção (MPS - Master Production Schedule) que “define quais produtos devem ser fabricados, em que quantidades e em quais períodos, servindo como base para o cálculo do MRP e o planejamento da cadeia de suprimentos (Orlicky, 1975)”.

O MRP II surgiu na década de 80, com a função de agregar o MRP com novas funcionalidades e incorporou “recursos mais amplos da manufatura, como planejamento de capacidade, planejamento financeiro e controle da produção, proporcionando uma abordagem mais integrada para a gestão da produção (Wight, 1981)”.

A Figura 4 representa módulos de uma estrutura de planejamento hierárquico, na qual as decisões dos superiores condicionam as decisões dos níveis inferiores. É possível ver a estrutura do sistema MRP II, que segundo Corrêa, Giansi e Caon (1999), pode ser dividida em três blocos: Comando que é composto pelos níveis mais altos é o responsável por dirigir a empresa; Motor é responsável por separar as decisões tomadas no bloco de comando, gerando decisões desagregadas nos níveis requeridos pela execução; as Rodas são responsáveis por apoiar a execução detalhada daquilo que foi determinado pelo bloco anterior, bem como controlar o cumprimento do planejamento, realimentando todo o processo.

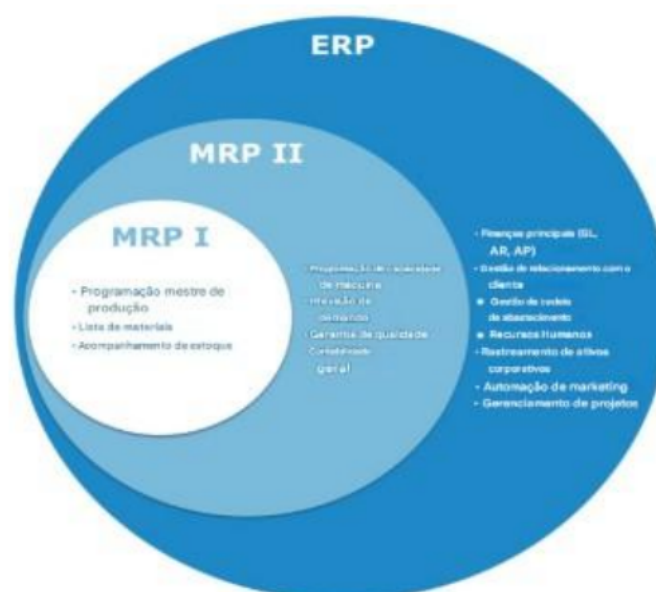
Figura 4 – Desenvolvimento do MRP



Fonte: Corrêa, Giansi e Caon (1999, p. 146).

Lopes et al. (2012, p.5) declara que “enquanto que o MRP cuidava, principalmente, com os materiais, o MRP II completa a integração de todos os meios do processo de produção, incluindo a relação entre materiais, finanças e recursos humanos.”.

Figura 5 – Desenvolvimento do MRP



Fonte: Adaptado de Morteza Janbazi, (2024).

A Figura 5 retrata a relação dos sistemas, e como eles são integrados. O MRP é a

base do primeiro software onde tudo começou, o MRP II é a evolução do MRP houve evoluções, modificações, e preenche as lacunas necessárias. E com a chegada do ERP o acesso à informação foi facilitado, está centralizado num programa que ajuda e agiliza o processo de tomada de decisão.

2.4.2 ERP

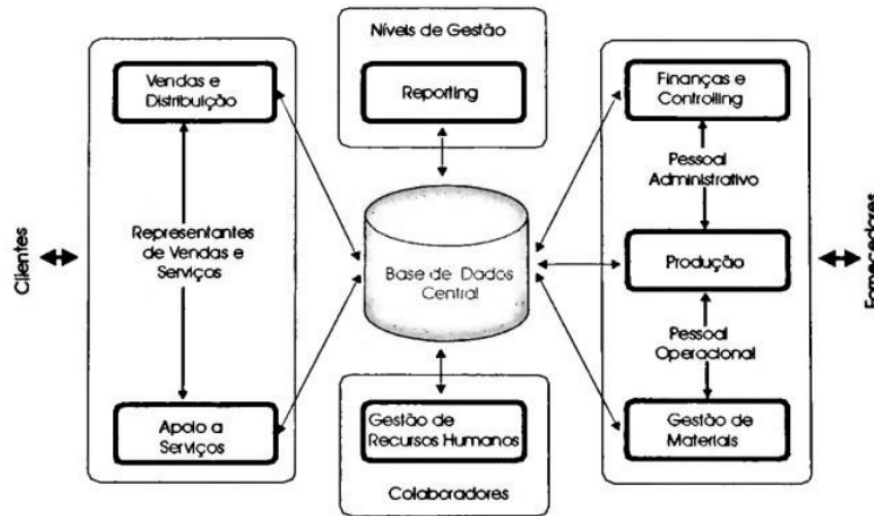
Conforme Monk (2012), os sistemas ERP (Enterprise Resources Planning) são pacotes de software integrados que suportam a maioria dos processos de negócios de uma organização, permitindo um fluxo contínuo de informações entre diferentes departamentos.

Segundo Hehn (1999), os sistemas ERP representam uma coleção integrada de sistemas que atendem a todas as necessidades de um negócio: contabilidade, finanças, controle de produção, compras e outros. Todos os sistemas estão integrados e partilham os mesmos dados.

De acordo com Hicks (1995), “o ERP está essencialmente ligado a garantir que as decisões de manufatura de uma empresa não sejam feitas sem levar em consideração seus impactos sobre a cadeia de suprimentos, tanto para frente como para trás. Indo mais adiante, as decisões de produção são afetadas e afetam todas as outras áreas da empresa, incluindo a engenharia, contabilidade e marketing. Para tomar melhores decisões é necessário levar em consideração todas estas importantes interações dentro da empresa. O software é o meio para conseguir esta integração dos processos de decisão”.

A arquitetura do ERP tem no seu ponto central normalmente uma única base de dados que recolhe e fornece dados a diversos módulos, que por sua vez suportam toda a atividade de negócio da organização, em termos funcionais, de unidades de negócio e regiões (Davenport, 1998). Quando novos dados são introduzidos no sistema, a informação é automaticamente atualizada. Um ERP direciona o fluxo de dados e permite à gestão um acesso direto à informação em tempo real e a dados de qualidade (Davenport, 1998), desde que a base de dados e o dicionário de dados sejam corretamente implementados (Serrano, Caleira e Guerreiro, 2004).

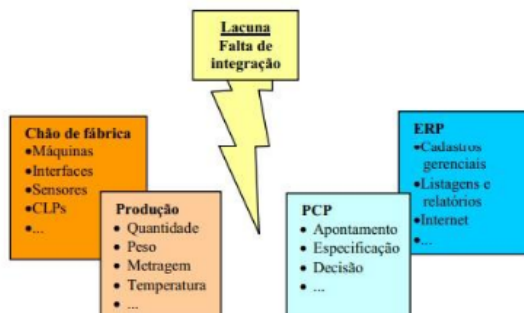
Figura 6 – Arquitectura típica de um sistema ERP



Fonte: Silva e Alves, 2000.

Existem, ainda, algumas lacunas entre as atividades dos processos e o acompanhamento do chão de fábrica, é possível visualizar esta afirmação na Figura 6. A relação mostrada na figura indica que o chão de fábrica não se integra com os sistemas ERP, com isso, há necessidade de implantação de uma ferramenta como o MES para se analisar o controle e acompanhamento da produção.

Figura 7 – Situação inicial – Lacuna separando a gestão da produção do chão de fábrica



Fonte: Fernandes, 2006.

2.4.3 MES

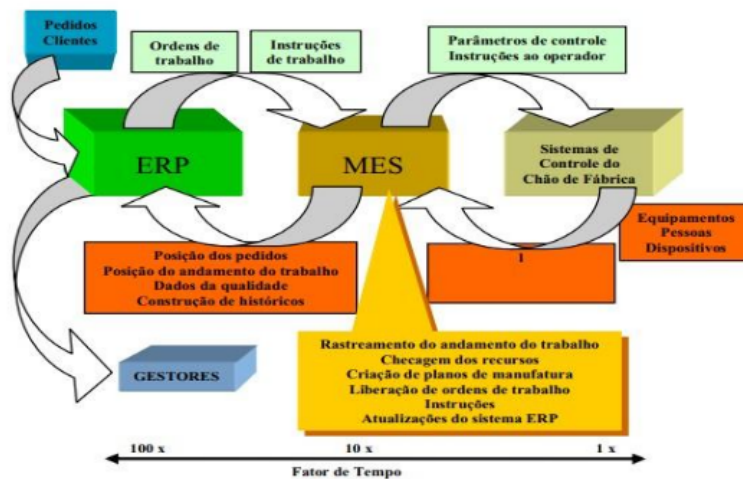
A MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association) é uma associação global sem fins lucrativos que foi criada em 1992, com a finalidade de promover os sistemas MES

ele tem como objetivo melhorar os resultados, as operações de produção, por meio da tecnologia e de práticas de gestão.

O MES (Manufacturing Execution System) é um sistema que documenta, rastreia, monitora e controla os processos de fabricação. Ele intermedia sistemas ERP com sistemas de chão de fábrica. A MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association) definiu onze função que os sistemas MES devem apresentar, sendo eles: alocação e status de recursos, gestão de ordens de produção, gestão de documentos, coleta de dados, gestão de mão de obra, gestão da qualidade, gestão de manutenção, rastreamento e genealogia do produto, gestão de desempenho, gestão de processos e planejamento e programação detalhados, lembrando que não necessariamente é obrigatório a cada empresa, tudo depende dos objetivos da empresa.

Garcia (2015) cita que os desafios na implementação do MES incluem altos custos iniciais, resistência à mudança por parte dos funcionários e problemas de integração com outros sistemas. Ainda Oliveira (2008), destaca dificuldades, como: ordens de produção sendo encaminhados por papéis, inventários com diferenças, pouco controle sobre horas trabalhadas, entre outros.

Figura 8 – Fluxo de dados do MES



Fonte: GAIDZINSKI, 2003, SNOELJ, 2006.

É possível ver que o MES processa informações dez vezes mais rápido que as camadas anteriores e, comparativamente, o ERP é 100 vezes mais.

Segundo Andrezza e Bertéli (2020), o processo de implantação do MES tem cinco fases. A fase 1 que é a fase de iniciação consiste em levantar os dados e estudo sobre a viabilidade do projeto, selecionar os responsáveis, definir escopo do projeto, metas e objetivos. A fase 2 é a do planejamento onde se detalha o escopo do projeto, resultados, os prazos e recursos necessários, lista as atividades para alcançar os objetivos, elaboração de orçamentos e cronogramas, e obter aprovação da gerência. A fase 3 é a etapa de execução

do projeto, nessa fase é indispensável a gerência, o diálogo, a resolução de conflitos das equipes e assegurar recursos necessários para o bom andamento da implantação do MES. A fase 4 é o controle do processo, é o monitoramento dos desvios, é considerar a tomada de ações corretivas se necessário, e avaliar alterações no escopo como prazo e custo. E o encerramento é a última fase do processo, é nela que avaliamos os resultados.

3 Metodologia

Neste capítulo, descrevemos como a pesquisa foi conduzida, explicando os métodos usados, a forma de coleta e análise dos dados e o estudo de caso realizado. A ideia é mostrar de maneira clara e prática todo o caminho seguido, para que os resultados possam ser entendidos e aplicados de forma confiável.

3.1 Tipo e delineamento da pesquisa

Este estudo é uma pesquisa que busca entender melhor um tema por meio de livros e artigos. É qualificado, descritivo e exploratório, utilizando um método de observação para analisar como a implementação de um Sistema de Execução da Manufatura (MES) na indústria química afeta o Planejamento e Controle da Produção (PCP).

3.2 Revisão da Literatura (Pesquisa Bibliográfica)

A base teórica foi criada a partir de várias fontes, como artigos científicos, livros, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e outras publicações. Essas fontes foram pesquisadas no Google Acadêmico e no SciELO. Iniciaram-se com 30 produções em português. Depois de uma análise cuidadosa sobre a importância, os objetivos e a relação com o tema, 18 delas foram escolhidas para fazer parte da base teórica do estudo.

Segundo Fontelles (2009) e outros autores. Uma revisão cuidadosa da literatura é muito importante para dar base teórica à pesquisa, definir os objetivos, evitar repetições desnecessárias e assegurar a qualidade científica.

3.3 Coleta de Dados

Os dados foram coletados com os trabalhadores que estiveram diretamente envolvidos na implementação do sistema MES, os aspectos abordados foram:

- Rastreabilidade é a habilidade de acompanhar o percurso de um produto ou informação desde o começo até o fim.
- A qualidade diz respeito ao padrão ou ao nível de algo.
- Melhorias nas solicitações de Planejamento e Controle da Produção.
- Separação e certificação dos materiais.
- Acesso rápido e simples às informações.

O objetivo principal foi entender como as práticas atuais do sistema ERP operam, reconhecer seus pontos fortes e fracos, e assim poder comparar com a nova implementação do MES.

3.4 Análise dos Dados

Os dados foram coletados em uma empresa Siderúrgica de produção de Alumina esses dados foram coletados de junho de 2025 a agosto de 2025. A área de análise compreende o setor de planejamento e controle da produção e o setor de controle. Salienta-se que os dados foram extraídos do ERP desta empresa e que foi considerado o processo de Implantação do MES na localidade. Os dados foram comparados e analisados com base na literatura que já tinha sido revisada, o que ajudou a identificar semelhanças e diferenças. A conexão entre a teoria e os dados reais.

4 Apresentação e discussão dos resultados

Neste capítulo, são apresentados os fundamentos teóricos que sustentam a pesquisa, juntamente com a análise dos resultados e as conclusões do estudo de caso. O objetivo é mostrar de forma clara como a teoria se conecta à prática, evidenciando os aprendizados obtidos e como eles contribuem para alcançar os objetivos da pesquisa.

4.1 Estudo de Caso: Descrição da empresa

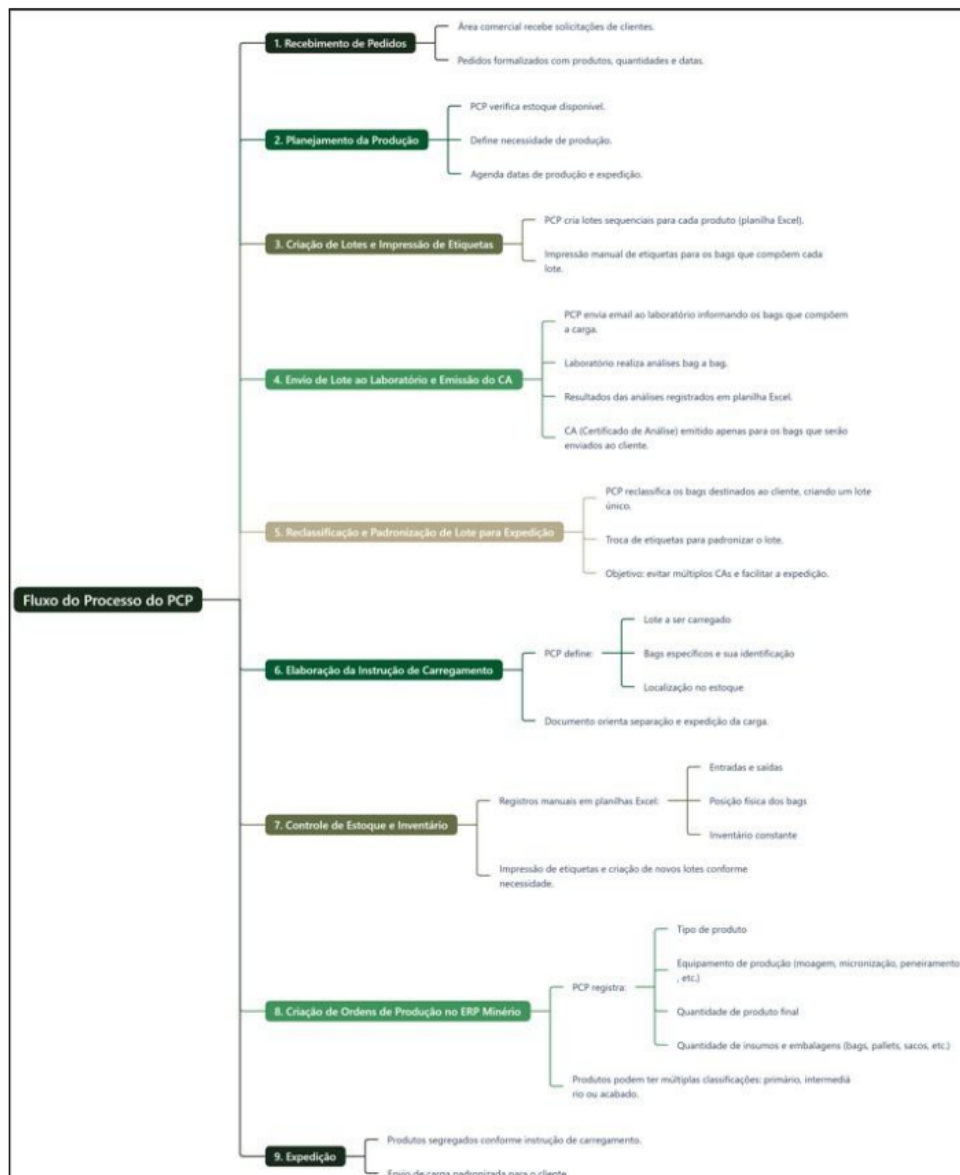
A indústria química objeto deste estudo é especializada na produção de aluminas especiais e hidratos, empresa esta que atua em toda a cadeia produtiva, da mina a alumina slogan utilizado para descrever o processo de fabricação dos seus produtos que vão desde a extração da matéria-prima até o refino de produtos de alta tecnologia. A empresa se destaca pelo compromisso com a sustentabilidade e a excelência operacional, buscando inovações e soluções que atendam às necessidades do mercado.

Além disso, mantém parcerias estratégicas com instituições educacionais e tecnológicas para o desenvolvimento contínuo da formação profissional e para o avanço da tecnologia da região. Esta indústria química está investindo na melhoria dos processos produtivos com uma equipe qualificada e infraestrutura moderna, a fim de aumentar sua competitividade nos mercados interno e internacional.

4.2 Descrição do processo realizado pelo PCP

O processo do Planejamento e controle da produção pode ser visualizado no Fluxograma da Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma do PCP



Fonte: Pesquisa direta (2025) a partir do processo do PCP na indústria estudada.

Os tópicos a seguir apresentarão o processo realizado pelo PCP da empresa de forma detalhada, o PCP é responsável pelo planejamento, programação e controle das etapas produtivas, que será descrito em maiores detalhes a seguir:

4.2.1 Comercial x cliente

O processo de atendimento ao cliente inicia-se com a área comercial, que realiza negociações com os clientes e formaliza os pedidos de acordo com a demanda. Após essa etapa, a área de Planejamento e Controle da Produção (PCP) é acionada para verificar a disponibilidade de estoque ou a necessidade de produção, além de definir as datas possíveis para a expedição. O PCP, portanto, atua como elo entre a demanda comercial e a execução da produção, sendo responsável por organizar a agenda de produção e determinar o

cronograma de carregamentos.

Figura 10 – Demanda

CONTROLE DE PRODUÇÃO PCP - AGOSTO/25

MENU GERAL		
Ordem de Venda <input type="button" value="▶ LANÇAMENTO DE DADOS"/>	Relatório <input type="button" value="▶ QTD VEICULOS POR DIA"/> <input type="button" value="▶ RESUMO"/> <input type="button" value="▶ SACARIA AUTOMATICO"/> <input type="button" value="▶ RESUMO ATRASADO"/> <input type="button" value="▶ ATRASADO"/> <input type="button" value="▶ DIÁRIO"/>	Planejamento Produção <div> <input type="button" value="▶ PROD. 1"/> <input type="button" value="▶ PROD. 8"/> <input type="button" value="▶ PROD. 15"/> </div> <div> <input type="button" value="▶ PROD. 2"/> <input type="button" value="▶ PROD. 9"/> <input type="button" value="▶ PROD. 16"/> </div> <div> <input type="button" value="▶ PROD.3"/> <input type="button" value="▶ PROD. 10"/> <input type="button" value="▶ PROD.17"/> </div> <div> <input type="button" value="▶ PROD. 4"/> <input type="button" value="▶ PROD. 11"/> <input type="button" value="▶ PROD. 18"/> </div> <div> <input type="button" value="▶ PROD. 5"/> <input type="button" value="▶ PROD. 12"/> <input type="button" value="▶ PROD. 19"/> </div> <div> <input type="button" value="▶ PROD.6"/> <input type="button" value="▶ PROD. 13"/> <input type="button" value="▶ PROD. 20"/> </div> <div> <input type="button" value="▶ PROD.7"/> <input type="button" value="▶ PROD. 14"/> <input type="button" value="▶ PROD. 21"/> </div>
<input type="button" value="▶ AUXILIAR"/> <input type="button" value="▶ Sales_Plan_Marketing"/> <input type="button" value="▶ Resumo_Marketing"/>		<input type="button" value="▶ SALVAR"/>
<input type="button" value="▶ Sales_Plan_PCP"/>		<input type="button" value="▶ SAIR"/>

Fonte: Capa da planilha de demanda utilizada na empresa estudada, 2025.

A Figura 10 mostra a planilha do Excel utilizada para monitorar a demanda diária. Esta ferramenta é essencial para o controle e a gestão eficiente do agendamento das atividades produtivas, uma vez que permite a captura sistemática dos pedidos realizados. A planilha mostra a demanda visualmente, o que ajuda no planejamento dos recursos, permitindo o monitoramento em tempo real das flutuações da demanda. Portanto, é eficaz em aprimorar os processos de produtividade e possibilita uma tomada de decisão mais precisa no planejamento e controle da produção.

4.2.2 Criação de Lotes e impressão de etiquetas

A criação de lotes é uma parte importante do planejamento e controle da produção. Essa fase ajuda a organizar e acompanhar os produtos que são produzidos. O PCP é responsável por organizar e registrar os lotes de produção com base nas necessidades e na matéria-prima que está disponível. Ele assegura que cada lote tenha um código único para facilitar sua identificação.

O PCP deve criar e imprimir as etiquetas que serão colocadas nos produtos. As etiquetas contêm informações importantes, como o nome do produto, o lote, a data de produção, o responsável pela retirada do produto. Com esse controle, a empresa consegue monitorar a produção de forma eficiente, facilita o acompanhamento dos produtos e atende aos padrões de qualidade exigidos, tanto internamente quanto pelos clientes e certificações.

Figura 11 – Etiquetas



Fonte: Informações utilizadas nas etiquetas utilizadas na empresa estudada, 2025.

As etiquetas, conforme ilustrado na Figura 11, representam a identificação visual e imediata de cada lote produzido. Elas contêm informações essenciais como o código do lote, data de fabricação, validade e outras observações relevantes, garantindo a rastreabilidade e o controle de qualidade durante todo o processo produtivo. A Figura 11 exemplifica o formato e os dados presentes na etiqueta, destacando sua importância para a organização e o acompanhamento dos produtos desde a produção até a entrega ao cliente.

4.2.3 Análises Laboratoriais e Certificação de Produtos

Todos os produtos fabricados na empresa são obrigatoriamente submetidos à análise laboratorial, independentemente de já estarem destinados a algum cliente. O laboratório realiza a análise individualizada bag a bag, gerando os dados necessários para a emissão de certificados de análise (CA), que garantem a qualidade do produto.

O PCP não realiza solicitação direta ao laboratório. O fluxo é padronizado: todos os bags produzidos são analisados e os resultados ficam disponíveis para uso posterior. Quando há um pedido específico, o PCP utiliza essas análises para selecionar quais bags atendem à especificação técnica exigida por determinado cliente.

Figura 12 – Análise Laboratorial

A imagem mostra a interface de uma planilha de análise laboratorial organizada em painéis. No topo esquerdo, há um painel 'REGISTRO DE PRÉVIAS' com botões rotulados PROD. 1, PROD. 2, PROD. 1, PROD. 3, PROD. 5, PROD. 5, PROD. 7, PROD. 8, PROD. 9, PROD. 10, PROD. 12, PROD. 13, PROD. 11, PROD. 15, PROD. 16, PROD. 12, PROD. 19, PROD. 20, PROD. 10, PROD. 20. Ao lado, um painel 'DESENVOLVIMENTO' contém botões 'INSOLÚVEL', 'SÓLIDOS' e 'FCC'. No topo direito, um painel 'RÉGISTRO RESULTADOS' possui botões PROD. 1, PROD. 2, PROD. 3, PROD. 4. Abaixo dele, um painel 'CERTIFICADO E MALISE POE' contém botões PROD. 1, PROD. 8, PROD. 3, PROD. 8, PROD. 4, PROD. 8, PROD. 8, SAIR. Na base esquerda, um painel 'CONTROLE DE AMOSTRA E RESULTADOS DE ALUMINA – CONSULTA' tem botões 'PRÉVIAS' e 'DADOS CERTIFICAÇÃO'. Na base direita, um painel 'MANUTENÇÃO' contém botões 'AUXILIAR', 'ESPECIFICAÇÃO', 'SALVAR' e 'SAIR'.

Fonte: Capa da planilha do laboratório utilizada na empresa estudada, 2025.

A Figura 12 apresenta a planilha em Excel utilizada pelo laboratório para registrar as análises realizadas em cada bag. Essa ferramenta permite o armazenamento organizado dos dados laboratoriais, facilitando o acesso às informações necessárias para a emissão dos certificados de análise e para o suporte às atividades do PCP.

4.2.4 Reclassificação e Padronização de Lotes

Uma das principais práticas adotadas pela empresa é a criação de um lote exclusivo com finalidade certificadora. Considerando que os bags aprovados para determinado cliente podem ter origens diferentes (lotes distintos), o PCP realiza um processo de reclassificação, emitindo novas etiquetas para esses bags, com um único número de lote.

Esse procedimento visa:

- Padronizar as etiquetas e documentação para o cliente, garantindo maior clareza e facilidade na identificação dos produtos;
- Facilitar a emissão de um único Certificado de Análise (CA) por carga, agilizando o processo de liberação e garantindo conformidade com as especificações técnicas exigidas;
- Reduzir a complexidade logística da expedição, otimizando o manuseio e o transporte dos produtos, além de minimizar erros e retrabalhos;
- Melhorar o controle interno de rastreabilidade, permitindo acompanhar o histórico do lote certificador de forma integrada, independentemente da origem dos bags;
- Assegurar a conformidade regulatória e atender às exigências de auditorias internas e externas, fortalecendo a credibilidade da empresa perante clientes e órgãos fiscalizadores.

A instrução de reclassificação é formalizada por meio de documentos internos e resulta na troca das etiquetas físicas nos bags.

Figura 13 – Instrução de reclassificação

	<h1 style="margin: 0;">INSTRUÇÃO DE RECLASSIFICAÇÃO</h1>	Seq 336
--	--	------------

Produto Origem	Cliente	Produto Destino

Observações	Novo Lote:
-------------	------------

Grampo e tadar etiquetar.

Conferir e tadar etiquetar ortão com Data, Nome e Para carretar.

Cara não encontro algum bag informar a PCP.

Recurso para embarque

	Lote	Nº Bag	File	Novo Numeração
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				

	Lote	Nº Bag	File	Novo Numeração

Status final (uso operacional)

Atividade realizada em: <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>	Responsável (nome local - coordenador / operador) <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>
--	--

OBS:

Fonte: Instrução de reclassificação utilizada na empresa estudada, 2025.

4.2.5 Instrução de Carregamento

Após a reclassificação, o PCP emite a instrução de carregamento, documento que orienta a área de expedição sobre:

- Qual lote será carregado,
- Quais bags (identificação numérica) compõem a carga,

- Localização física de cada unidade no estoque.

Figura 14 – Instrução de carregamento

			INSTRUÇÃO PARA CARREGAMENTO		Seq. Nº
Produto	Cliente	Volume	Nº Pedido SG		
NÃO É NECESSÁRIO O USO DE PALLET					
Conferência dos dados :					
Responsável		Data	/ / 2025		
Observações					
Recurso para embarque					
Lote	Nº Big	Fila	Lote	Nº Big	Fila
		Status			Status

Fonte: Instrução de carregamento utilizada na empresa estudada, 2025.

Este documento é essencial para garantir rastreabilidade e agilidade na separação da carga, além de assegurar que os produtos corretos sejam enviados ao cliente certo.

4.2.6 Controle de Estoque e Inventário

O controle de estoque atualmente é realizado de forma manual, utilizando planilhas Excel para:

- Registro de entradas e saídas,
- Acompanhamento do inventário físico,
- Impressão de etiquetas e criação de lotes.

Essa abordagem manual aumenta significativamente o risco de erros operacionais, como:

- Bags analisados fora do controle,
- Informações duplicadas ou divergentes,
- Falta de sincronia entre o estoque físico e o sistema.

Figura 15 – Controle de estoque

CONTROLE DE ESTOQUE MAIO/25

MENU GERAL

ESTOQUE <ul style="list-style-type: none"> ▶ BANCO DE DADOS ▶ ESTOQUE DIÁRIO ▶ RECLASSIFICAÇÃO ▶ LABORATORIO S3G ▶ ENSACAMENTO DIÁRIO 	IMPRIMIR <ul style="list-style-type: none"> ▶ FORMULÁRIO ▶ ESTOQUE ▶ FORMULÁRIO CONFERÊNCIA 	INVENTÁRIO <ul style="list-style-type: none"> ▶ PARCIAL ▶ FINAL 	INVENTÁRIO <ul style="list-style-type: none"> ▶ EXPEDIÇÃO ▶ FABRICA DE CABOS ▶ CPR ▶ TENDA ▶ REDUÇÃO II ▶ QTD BB POR FILA
RESUMO <ul style="list-style-type: none"> ▶ PRODUÇÃO DIÁRIA ▶ QTD BB POR FILA P ▶ QTD BB POR FILA T 			
▶ AUXILIAR			▶ CALCULOS
▶ ESTOQUE_TRIMESTRAL			▶ SALVAR ▶ SAIR

Fonte: Planilha de estoque utilizada na empresa estudada, 2025.

O inventário é feito constantemente, com registro manual da posição de cada bag, o que gera uma sobrecarga de trabalho para a equipe do PCP.

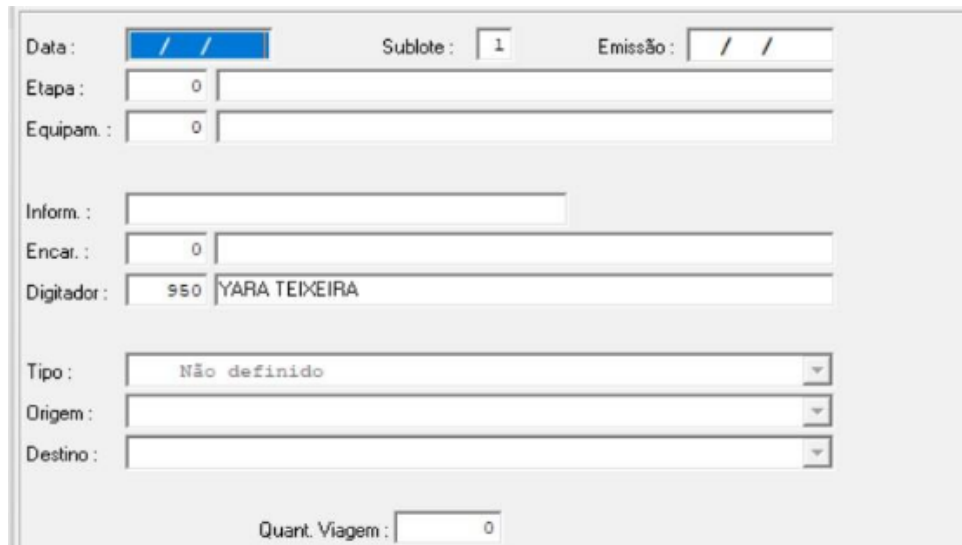
4.2.7 Utilização do ERP e Ordens de Produção

A empresa utiliza o sistema ERP, que auxilia na geração das ordens de produção. No entanto, esse sistema possui limitações, principalmente no controle de estoque e na confiabilidade dos apontamentos. O processo de criação de ordens de produção exige que o PCP:

- Selecione o tipo de produto a ser fabricado,
- Defina o equipamento utilizado (ex.: moinhos, filtros, micronizadores),
- Registre a quantidade de produto final desejada,
- Insira as quantidades de insumos e embalagens (bags, pallets, sacos, etc.).

Além disso, os produtos podem passar por múltiplas etapas de processamento (ex.: moagem, peneiramento, micronização), gerando classificações distintas como produto primário, intermediário ou acabado. Essa multiplicidade de classificações dificulta a rastreabilidade no sistema e compromete a confiabilidade do estoque registrado.

Figura 16 – Criação de ordens de produção no ERP atual



Fonte: ERP utilizada na empresa estudada, 2025.

A Figura 16, mostra como é realizado o registro de ordens de produção no ERP. É uma parte importante para planejar e controlar a fabricação dos produtos. O PCP usa o sistema para anotar as ordens com detalhes sobre os produtos a serem feitos, as quantidades, os prazos e os recursos que são necessários. Esse controle digital permite acompanhar em tempo real como está a produção, ajuda na administração das matérias-primas e garante que os processos estejam organizados. Isso torna a operação mais eficiente e permite rastrear os produtos durante toda a cadeia de produção.

4.2.8 Dificuldades Identificadas

A seguir, destacam-se os principais gargalos do processo atual:

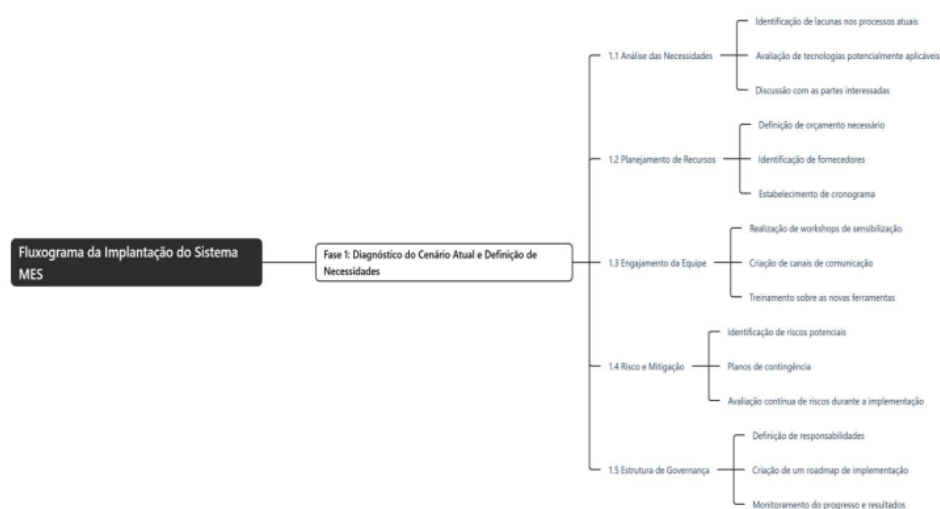
- Forte dependência de planilhas manuais, que elevam o risco de erro humano;
- Baixa integração entre os setores, com fluxo de informações descentralizado;
- Rastreabilidade frágil, principalmente pela complexidade na classificação de produtos;
- ERP com funcionalidades limitadas, especialmente na gestão de estoque e apontamento de produção.

4.2.9 Considerações Iniciais para Implantação de um Sistema MES

A implementação de um Sistema de Execução de Manufatura (MES) é um processo difícil que envolve diversas etapas, desde o diagnóstico inicial até a validação e melhoria contínua. Para fixar as práticas e metodologias identificadas na literatura acadêmica e em estudos de caso sobre a implantação de sistemas MES, propõe-se o fluxograma

detalhado na Figura 17. Este fluxograma mostra de forma clara e organizada as principais fases e etapas para implantar um Sistema MES. Ele ajuda a visualizar todo o processo, destacando os pontos mais importantes para que a implementação seja feita de maneira eficiente e sem complicações., conforme abordado nos estudos de Petrif et al. (2022), Temóteo (2020), Sodré et al. (2024), Andreazza & Bertéli (2020), Santos (2023) e Dias (2024).

Figura 17 – Processo de implantação do MES



Fonte: Elaboração própria (2025) a partir dos artigos citados.

A fase de 'Diagnóstico do Cenário Atual e Definição de Necessidades' integra elementos do 'estudo de viabilidade' e 'definição de escopo, objetivos e metas' mencionados por Sodré et al. (2024), o 'levantamento detalhado do cenário atual' e 'conscientização e identificação do problema' conforme descrito por Temóteo (2020) e Santos (2023), bem como a 'avaliação dos principais problemas' e 'formação de equipe' apontados por Andreazza & Bertéli (2020)."

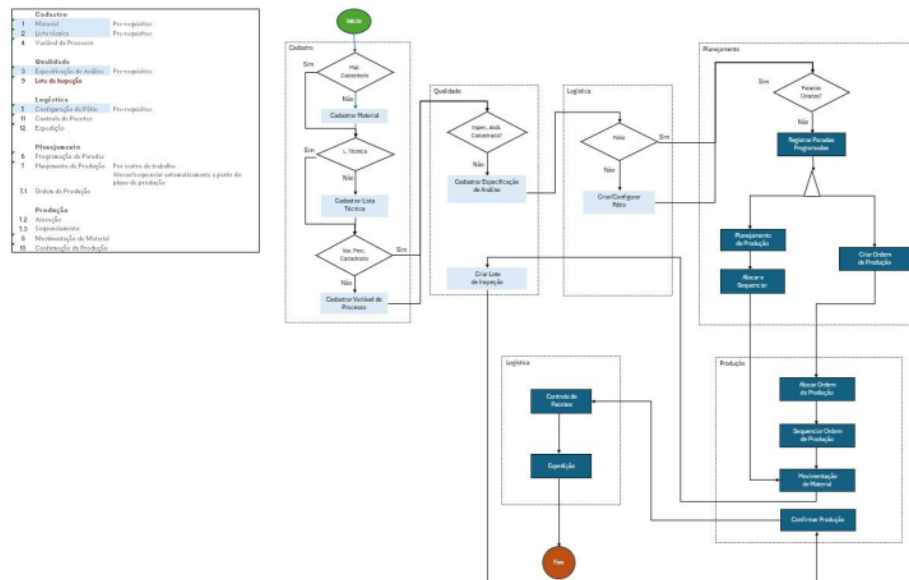
- "Similarmente, a fase de 'Avaliação e Seleção da Solução de Mercado' reflete as recomendações de pesquisa de mercado, avaliação de fornecedores e critérios de seleção detalhados por Sodré et al. (2024) e Andreazza & Bertéli (2020)."
- "A fase de 'Planejamento e Preparação para o Teste Piloto' agrupa as etapas de instalação física e de infraestrutura, parametrização e cadastros iniciais do software, conforme as experiências de implantação apresentadas por Petrif et al. (2022), Temóteo (2020) e Santos (2023). A necessidade de 'definição do escopo do teste' e 'alinhamento com o fornecedor' também foi integrada a partir das sugestões de Sodré et al. (2024) e Andreazza & Bertéli (2020)."
- "O processo de 'Treinamento dos Usuários e Implementação' foi estruturado com base nas práticas de treinamento de administradores, gestores e operadores, bem

como no acompanhamento inicial e elaboração de documentação, conforme detalhado por Temóteo (2020) e Santos (2023).”

- ”Finalmente, as fases de 'Execução do Teste e Monitoramento Contínuo' e 'Análise de Resultados e Melhoria Contínua' refletem os ciclos de verificação, validação de dados, gestão em tempo real, consolidação de ganhos e sugestões para expansão e melhoria contínua, com base nas experiências de Petrif et al. (2022), Temóteo (2020), Sodré et al. (2024) e Santos (2023).”
- ”As contribuições de Dias (2024) também foram fundamentais, especialmente na elaboração da metodologia de modelagem de processos e na integração do MES com outros sistemas empresariais, como o ERP e o WMS.”

Este fluxograma funciona como um roteiro para a implantação de um sistema MES, reunindo informações de estudos e experiências já registradas. Ele mostra, passo a passo, as ações mais importantes, ajudando a planejar o processo de forma mais segura e eficiente, com menores riscos e melhores resultados. A empresa em estudo desenvolveu um fluxo de implantação do MES contemplando a participação de todas as áreas, com o objetivo de assegurar maior eficiência no processo e favorecer a adesão dos setores envolvidos.

Figura 18 – Processo de implantação do MES na empresa de estudo



Fonte: Elaboração da empresa estudada (2025).

O fluxo operacional do Sistema MES integra de forma sequencial as áreas de cadastro, qualidade, planejamento, produção e logística, garantindo rastreabilidade e consistência das informações. Inicialmente, verifica-se a existência e a conformidade dos cadastros de material, lista técnica e variáveis de processo, realizando-se os registros quando necessário. Na sequência, a etapa de qualidade confirma a disponibilidade das especificações de análise, assegurando que os parâmetros de controle estejam definidos. A logística valida

a configuração de pilhas e gera a lista de inspeção, preparando o processo para o planejamento. O planejamento verifica a existência de pedidos, programando-os quando ausentes, e procede ao detalhamento da produção por meio do alocamento, sequenciamento e emissão das ordens de produção. Na produção, as ordens são alocadas e sequenciadas, ocorre a movimentação de materiais e a confirmação da produção no sistema. Por fim, a logística realiza o controle dos pacotes e a expedição, encerrando o ciclo de forma integrada e documentada no MES. Diante dos desafios identificados, é evidente que a implantação de um Sistema de Execução da Produção (MES) pode trazer melhorias significativas. Um sistema MES permitiria:

- Automação da criação de lotes e etiquetas,
- Integração em tempo real com os dados de análise e estoque,
- Acompanhamento preciso das etapas de produção e rastreabilidade dos bags,
- Redução de retrabalho e aumento da confiabilidade nas informações operacionais.

4.2.10 Aplicação dos Conceitos Teóricos na Indústria Química Estudada

A análise comparativa entre o referencial teórico e a realidade observada na indústria química estudada evidência que diversos conceitos sobre o Manufacturing Execution System (MES) já encontram aplicação prática, embora em estágios distintos de maturidade. O MES na indústria estudada tem promovido integração entre o chão de fábrica e a gestão, automação de processos críticos, rastreabilidade e padronização de lotes, bem como redução de erros e retrabalhos, alinhando-se às recomendações da literatura (MESA International, 2008; Chen & Voigt, 2020). Exemplos práticos incluem a impressão automática de etiquetas acoplada à balança de ensaque e a baixa automática de estoque, que simplificam processos e diminuem falhas humanas. O processo de reclassificação e padronização de lotes também contribui para a emissão de um único Certificado de Análise (CA) por carga, melhorando a rastreabilidade e a logística.

O fluxo de implantação do MES segue etapas recomendadas na literatura (Andreazza & Bertéli, 2020; Sodré et al., 2024), incluindo diagnóstico, avaliação de soluções, teste piloto, treinamento e monitoramento, com participação de todas as áreas, garantindo maior eficiência e aceitação interna. Apesar desses avanços, algumas funções ainda não foram totalmente implementadas, como gestão de manutenção, mão de obra e programação detalhada da produção. Etapas manuais persistem, especialmente na comunicação com o laboratório e no controle de estoque em casos específicos. Além disso, o aumento do número de etapas nas ordens de produção de 3 para 7 eleva o tempo de execução, limitando parcialmente a simplificação prevista teoricamente.

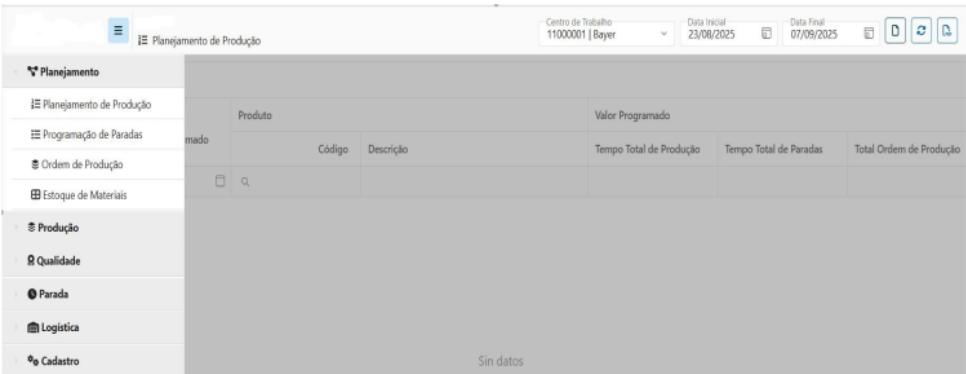
Portanto, a indústria estudada apresenta avanços significativos na aplicação prática do MES, especialmente em rastreabilidade, integração e automação parcial, mas a conso-

lidação plena depende da ampliação das funcionalidades, eliminação de etapas manuais e fortalecimento da automação.

4.2.11 Implantação do MES na empresa estudada

As figuras a seguir apresentam algumas telas do Manufacturing Execution System (MES) da empresa estudada, destacando seus módulos e funcionalidades. Cada módulo está diretamente associado às atividades do Planejamento e Controle da Produção (PCP), permitindo acompanhar e gerenciar em tempo real os processos produtivos.

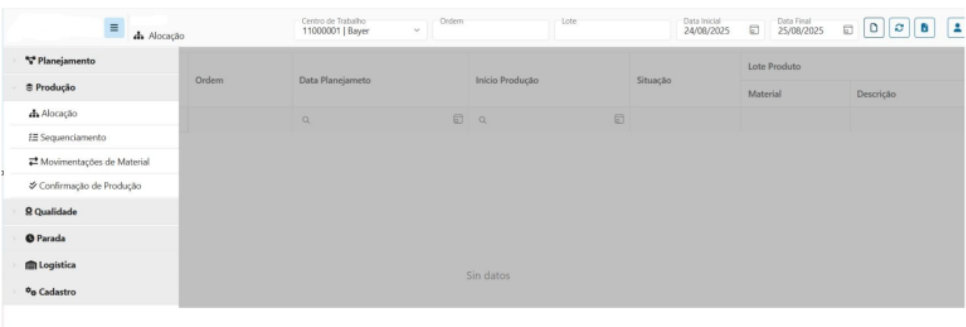
Figura 19 – Tela do módulo de Planejamento do MES da empresa estudada.



Fonte: Sistema MES da empresa estudada (2025).

Este módulo concentra as funcionalidades de programação da produção, definição de ordens, controle de estoque de materiais e registro de paradas programadas, permitindo ao PCP prever a capacidade produtiva disponível e distribuir as demandas de acordo com os recursos da fábrica.

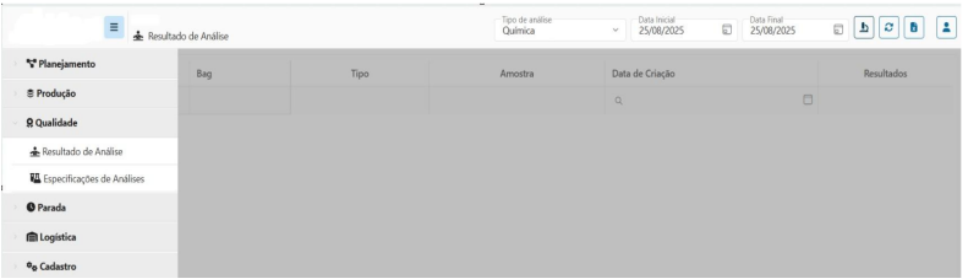
Figura 20 – Tela do módulo de Produção do MES da empresa estudada.



Fonte: Sistema MES da empresa estudada (2025).

Inclui as ferramentas de alocação, sequenciamento, movimentações de material e confirmação da produção. Possibilita direcionar os recursos produtivos, organizar a ordem de execução das atividades e registrar o andamento das ordens de produção em tempo real.

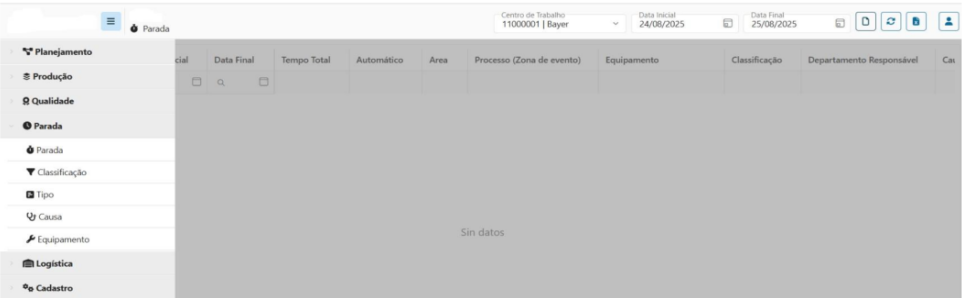
Figura 21 – Tela do módulo de Qualidade do MES da empresa estudada.



Fonte: Sistema MES da empresa estudada (2025).

Apresenta os resultados das análises laboratoriais, químicas, vinculados aos lotes e bags produzidos. Esse módulo assegura a rastreabilidade dos produtos, integrando informações de conformidade e facilitando a liberação da produção conforme especificações técnicas.

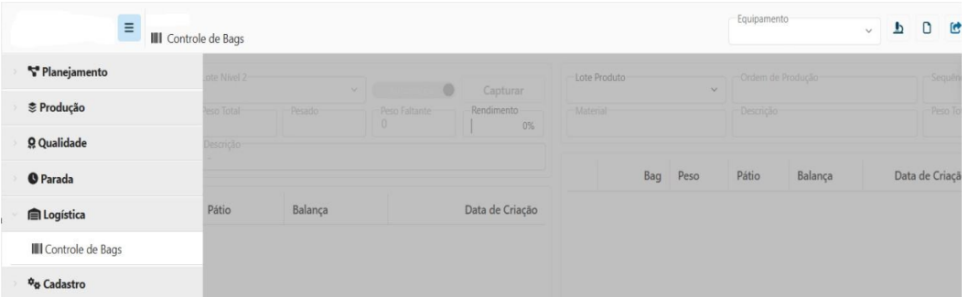
Figura 22 – Tela do módulo de Parada do MES da empresa estudada.



Fonte: Sistema MES da empresa estudada (2025).

O bloco parada trás os registros de eventos de interrupção da produção, categoriza-dos por área, equipamento, tipo e causa. O detalhamento permite identificar gargalos e compreender os impactos de cada parada na eficiência global do processo.

Figura 23 – Tela do módulo de Logística do MES da empresa estudada.



Fonte: Sistema MES da empresa estudada (2025).

A aba logística é responsável pelo controle de bags, incluindo pesagem, pátio de es-tocagem, balança utilizada e movimentação dos materiais. Garante maior precisão nas informações de estoque e na expedição dos produtos acabados.

Figura 24 – Tela do módulo de Cadastro do MES da empresa estudada.

	Tipo	Exportação
FORME (DC-08-002 - REV 12)	Acido	<input type="checkbox"/>
	Acido	<input type="checkbox"/>
R-30M	Alumina	<input type="checkbox"/>
R-08M	Alumina	<input type="checkbox"/>
	Alumina	<input type="checkbox"/>
INT	Alumina	<input type="checkbox"/>
1R GRANEL - INT	Alumina	<input type="checkbox"/>

Fonte: Sistema MES da empresa estudada (2025).

Compõe informações de materiais, variáveis de processo e listas técnicas, sendo essencial para a padronização de dados e fornecendo uma base confiável para todas as demais operações do MES.

As figuras evidenciam que o MES da empresa estudada integra diferentes áreas do processo produtivo em uma única plataforma, possibilitando maior rastreabilidade, confiabilidade das informações e padronização das operações. A utilização dos módulos de Planejamento, Produção, Qualidade, Parada, Logística e Cadastro permite não apenas acompanhar em tempo real o andamento da produção, mas também atuar de forma preventiva na identificação de falhas, otimizar o uso dos recursos disponíveis e apoiar a tomada de decisão do PCP. Dessa forma, o sistema contribui diretamente para a redução de retrabalhos, a melhoria da eficiência operacional e o aumento da produtividade.

Tabela 2 – Melhorias a serem alcançadas com o MES

CATEGORIA DA MELHORIA	BENEFÍCIOS	DESCRIÇÃO
Rastreabilidade e Padronização	Maior rastreabilidade de lotes. Acompanhamento completo do produto, da matéria-prima ao produto final.	Reclassificação e padronização de lotes facilitam a emissão de um único Certificado de Análise (CA) por carga, otimizando a rastreabilidade e a logística.
Automação de Processos	Automação crítica para a eficiência. Geração automática de etiquetas, eliminando erros e etapas manuais.	Impressão automática de etiquetas acoplada à balança, reduzindo a quantidade de impressões e os erros associados ao trabalho manual.
Controle de Estoque	Controle de estoque mais confiável e rápido. Baixa automática do estoque minimiza erros e agiliza a localização de lotes.	O sistema garante um inventário preciso, minimizando falhas humanas e permitindo uma resposta mais rápida na localização de produtos.
Integração de Informações	Conexão em tempo real de toda a produção. Integração de dados de análises laboratoriais e do estoque.	O MES atua como uma ponte entre o ERP (gestão) e os sistemas de chão de fábrica, criando uma plataforma unificada para diferentes áreas.
Redução de Erros e Retrabalho	Diminuição significativa de erros e retrabalho. Redução de falhas humanas e retrabalho operacional.	O sistema elimina erros de impressão manual e a necessidade de reclassificar produtos, resultando em maior precisão e menos perdas.
Confiabilidade da Informação	Informações mais seguras e confiáveis. Os dados não podem ser alterados facilmente, garantindo a integridade das informações.	O sistema proporciona ganhos substanciais na confiabilidade, assegurando que as ordens de produção realizadas sejam permanentes e precisas.
Suporte à Tomada de Decisão	Decisões baseadas em dados precisos e em tempo real. Acompanhamento em tempo real da produção.	Fornecer dados precisos para que gestores tomem decisões mais rápidas e informadas, com base no status atual da produção.
Eficiência Operacional e Produtividade	Aumento da produtividade e otimização de recursos. Acompanhamento preciso e rastreabilidade dos bags.	Otimização do uso de recursos disponíveis e melhoria da eficiência operacional, resultando em aumento de produtividade.
Gestão da Qualidade e Certificação	Facilidade na gestão de qualidade e conformidade. Associação automática de bags ao cliente e emissão de certificados.	O sistema associa os bags ao cliente correto após os resultados laboratoriais e facilita a emissão de Certificados de Análise (CA), garantindo a conformidade e auditorias.
Otimização de Custos	Redução de custos com materiais e desperdício. Diminuição na quantidade de etiquetas impressas.	A automação na impressão de etiquetas e a redução de erros operacionais contribuem para uma economia significativa de materiais específicos.

Fonte: Pesquisa direta (2025).

5 Conclusões e considerações finais

A implantação do sistema MES foi conduzida pela equipe de TI da Indústria Química estudada, com o objetivo principal de otimizar e automatizar processos na área de Planejamento e Controle da Produção (PCP). A proposta do MES é eliminar diversas etapas manuais, reduzindo a ocorrência de erros e integrando funções como geração de lotes, emissão de etiquetas e certificação em um único sistema. Atualmente, esses processos ainda dependem de contatos via e-mail com o laboratório para certificação dos lotes, mas com o MES, essa comunicação será automatizada, tornando todo o fluxo mais ágil e confiável.

Um dos avanços significativos observados até o momento é a impressão automática das etiquetas, que ocorre diretamente em uma impressora acoplada à balança do embergador — equipamento responsável pelo enchimento dos bags. Essa automatização diminui a quantidade de etiquetas impressas, reduz os custos com materiais específicos (como etiquetas coloridas), e elimina erros decorrentes de impressões manuais ou da necessidade de reclassificação de produtos. Além disso, o sistema realiza baixas automáticas no estoque, minimizando riscos de falhas humanas durante o processo. Entretanto, alguns desafios já foram identificados durante essa fase inicial. Um deles é o tamanho dos números de lote gerados pelo MES, que são bastante extensos e podem gerar confusão operacional. Também permanece a necessidade do envio diário de amostras ao laboratório para análise, o que mantém parte do processo dependente da área laboratorial. Outro ponto que exige atenção é o aumento da complexidade e duração das ordens de produção: enquanto no sistema antigo (ERP) as ordens tinham cerca de 3 a 4 etapas, no MES esse número dobrou para 7 a 8 etapas, o que demanda mais tempo e esforço para os operadores.

A adaptação dos colaboradores da operação é uma etapa crucial e que requer treinamento específico, pois muitos profissionais ainda não possuem familiaridade com sistemas automatizados desse tipo. O processo de mudança inclui também a padronização e alteração dos nomes dos produtos no sistema, com acréscimos de letras ou nomes diferenciados para cada cliente, o que permite uma melhor rastreabilidade e identificação dentro do MES. Outro aspecto positivo é que, com o MES, os bags são automaticamente associados ao cliente correto logo após a obtenção dos resultados laboratoriais, facilitando a certificação e emissão dos certificados de análise (CA) diretamente no sistema, reduzindo significativamente os erros e retrabalhos.

Em resumo, mesmo estando no início da implantação, o MES já demonstra potencial para promover ganhos importantes em automação, redução de custos e minimização de erros, embora ainda seja necessário superar desafios relacionados à adaptação dos processos e do pessoal envolvido.

Referências

- AGUIAR, M. F. de. *Análise da implementação de sistema MES em indústria de autopeças: ganhos em rastreabilidade e controle de produção*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção)) — Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2022.
- ANDREAZZA, L. M. Sistema mes como ferramenta de apoio à tomada de decisão na produção industrial. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção – COBEP*. São Paulo: COBEP, 2022.
- BOARIA, E. R. *Sistema MES como ferramenta de controle e rastreabilidade em indústria de alimentos*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção)) — Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.
- FERREIRA, L. H. *Aplicação de sistema MES em ambiente industrial: estudo de caso em empresa do setor alimentício*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção)) — Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2021.
- JORGE, A. C. C. *Análise e melhoria dos processos produtivos para a implementação de um Sistema MES*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial)) — Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2024.
- LEITE, M. V. *Sistema MES como ferramenta de integração entre produção e gestão: estudo de caso em indústria de embalagens*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção)) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.
- MATHEUS, E. V. de C. *Sistema MES como ferramenta de integração entre os níveis de automação industrial e gestão empresarial*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação)) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.
- MENEZES, R. *Sistema MES como ferramenta de apoio à gestão administrativa e produtiva*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Administração)) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.
- MICHELON, M. Como a implementação de um sistema de execução da produção pode melhorar a gestão do chão de fábrica e aumentar a produtividade. *Revista Produção Online*, Florianópolis, v. 22, n. 2, p. 2702–2730, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v22i2.4628>>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- OKURO, R. J. *Sistema MES como ferramenta de apoio à gestão da produção: estudo de caso em uma indústria de sorvetes*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção)) — Faculdade de Jaguariúna, Jaguariúna, 2022.
- SANDRINI, P. *Avaliação da implementação de sistema MES em indústria de transformação: impactos na eficiência operacional*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

SANTOS, A. C. de M. *Estudo sobre a implantação de uma ferramenta MES – Manufacturing Execution System em linhas de envase de uma indústria de processamento de óleos e gorduras*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação)) — Instituto Federal de Goiás, Campus Itumbiara, Itumbiara, 2023.

SEBRAE. *Inteligência artificial na Indústria 4.0: como pequenas empresas podem se beneficiar*. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br>>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SILVA, C. B. *Aplicação de sistema MES para melhoria da rastreabilidade e controle de produção em indústria metalúrgica*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção)) — Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2021.

SOUSA, F. C. de. *Adoção de sistema MES em indústria de bebidas: análise dos impactos na eficiência produtiva*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção)) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

TIAGO, M. B. *Sistemas de Execução da Manufatura: uma abordagem estratégica para a Indústria 4.0*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

VIEIRA, J. M. dos S. Sistema mes como ferramenta de integração entre produção e gestão: estudo em indústria automotiva. *Revista Administrador*, São Paulo, v. 41, n. 386, p. 1–18, dez. 2018.

WINKLER, R.; OLIVEIRA, M. *Como a Indústria 4.0 tem revolucionado o século XXI*. São Paulo: Nomus, 2022. E-book. Disponível em: <<https://www.nomus.com.br>>. Acesso em: 25 ago. 2025.

XAVIER, C. *Indústria 4.0: desafios e oportunidades para o Brasil*. São Paulo: FIESP, 2020. E-book. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br>>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ZANELLA, R.; SILVA, B. Manufacturing execution systems: uma abordagem prática para a indústria brasileira. In: *Anais do Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Industriais – SAEPRO*. São Paulo: SAEPRO, 2022.

ZANIN, F.; OLIVEIRA, C. Sistema de execução de manufatura: estudo de caso em indústria de bens de consumo. In: *Anais do Simpósio de Engenharia de Produção – SIMEP*. Bauru: UNESP, 2016.